



International

Journal of Human Sciences

ISSN:2458-9489

Volume 14 Issue 4 Year: 2017

Sea level change in Göksu Delta related to storm surge

Göksu Deltası'nda fırtına kabarmasına bağlı deniz seviyesi değişimleri

Hatice Kılar¹
İhsan Çiçek²

Abstract

A storm surge is a sudden rise in water level that occurs when atmospheric conditions are not normal. Due to global climate change in recent years, ocean and sea surfaces have warmed more than usual. As a result, there have been more severe storm surges over shorter periods. This is explained in the 2007 IPCC report: "There is a trend since the mid-1970s toward longer duration and greater intensity of storms, and a strong correlation with the upward trend in tropical sea surface temperature. In addition, it notes that hurricanes/cyclones are occurring in places where they have never been experienced before". The increase in severe storm surges, recognized by international organizations, has led to environmental, economic, and social problems in affected coastal areas.

The Göksu delta coast occupies an important position along the Mediterranean coast. It is ecologically rich and there is a high intensity and density of economic and recreational activities. Therefore, severe storm surges here cause significant economic, social, and environmental problems.

This study aims to model the effect of storm surges on sea level change along Göksu Delta coast using the Hydrotam 3D program. Wind and wave data generated from the 36.3K–34.1D coordinate points of the European Medium-Term Weather Forecast Center (ECMWF) were utilized to calculate storm surge levels.

Özet

Fırtına kabarması, atmosferik koşulların normal seyirlerde gerçekleşmediği durumlarda ortaya çıkan ani su seviyesi yükselmesidir. Son yıllarda, küresel iklim değişikliği nedeniyle okyanus ve deniz yüzeyleri daha fazla ısınmakta ve buna bağlı olarak daha kısa sürelerde şiddetli fırtına kabarmaları meydana gelmektedir. Bu durum, 2007 yılında yayınlanan IPCC raporunda "Fırtınaların sürelerinin uzunluğu ve büyüklüğü arasında güçlü bir korelasyon olduğu ve bununda tropikal deniz yüzeyi sıcaklıklarındaki artış ile bağlantılı" olduğu ifadeleri ile açıklanmıştır. Bunun yanı sıra, raporda kasırga ve siklonların daha önce hiç görülmemiş alanlarda da görülmeye başlandığına değinilmiştir. Uluslararası kuruluşlar tarafından da kabul edilen şiddetli fırtına kabarmalarındaki artış, etkili olduğu kıyı alanlarında bazı çevresel, ekonomik ve sosyal sorunların oluşmana neden olmaktadır.

Göksu deltası kıyıları, ekolojik zenginliği, ekonomik ve rekreasyon faaliyetlerinin yoğunluğu nedeniyle Akdeniz kıyıları içerisinde oldukça önemli bir konuma sahiptir. Delta kıyılarında meydana gelen şiddetli fırtına kabarmaları bölgede önemli çevresel sorunların ortaya çıkmasına neden olmakla birlikte, ekonomik ve sosyal faaliyetlerin de önemli ölçüde kesintiye uğramasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada, Göksu Deltası kıyılarında meydana gelen fırtına kabarmalarının deniz

¹ Research Assist., Ankara University, The Institute of Social Sciences, Department of Geography, hkilar@ankara.edu.tr

² Prof., Dr., Ankara University, Faculty of Humanities, Department of Geography, ihcicek@ankara.edu.tr

It was determined that the most severe storm surges on the Göksu Delta coast occurred in the southwest and west-southwest. Storm surges in these directions significantly increased sea level. Southwest winds that occurred in the time interval of one hour per year have caused storm surges of 3.6 m west-southwest winds have caused surges of 2.7 m.

Keywords: Storm Surges; Sea Level Change; Hydrotam 3D; Göksu Delta; Turkey.

(Extended English abstract is at the end of this document)

seviyesi değişimine olan etkisinin Hydrotam 3D programı ile modellenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezinin (ECMWF) 36.3K - 34.1D koordinat noktasından üretilen rüzgâr ve dalga verilerinden faydalanılmış ve bu veriler Hydrotam 3D programında değerlendirilerek fırtına kabarma seviyeleri hesaplanmıştır.

Çalışmanın sonucunda, Göksu deltası kıyılarında en şiddetli fırtına kabarmalarının GB ve BGB yönlerinde gerçekleştiği ve bu yönlerde meydana gelen fırtına kabarmalarının deniz seviyesini önemli ölçüde yükselttiği tespit edilmiştir. GB yönünde yılda 1 saat zaman aralığında meydana gelen rüzgârlar 3,6 m seviyesinde fırtına kabarmasına neden olurken; BGB yönünde yılda 1 saat zaman aralığındaki rüzgârlar 2,7 m seviyesinde fırtına kabarması oluşturmuştur.

Anahtar Kelimeler: Fırtına Kabarması; Deniz Seviyesi Değişimi; Hydrotam 3D; Göksu Deltası; Türkiye.

1. Giriş

Fırtına kabarması, atmosferik koşulların normal seyirde gerçekleşmediği durumlarda ortaya çıkan ani su seviyesi yükselmesidir (Zecchetto vd., 2015). Fırtına kabarmaları, okyanus ve deniz yüzeylerinde meydana gelen alçak basınç sistemlerinin bir sonucu olarak oluşmaktadır. Geniş su yüzeylerinde oluşan alçak basınç sistemleri hava akımlarının belli bölgelerde yığılmasına ve türbülans etkisi oluşturarak şiddetli rüzgarların ve yüksek dalgaların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Fırtına kabarmalarının şiddeti; rüzgarın şiddeti, yönü ve süresine bağlı olarak değişmektedir (Woth vd., 2006).

Fırtına kabarmalarının olumsuz etkileri en fazla alçak kıyılarda görülmektedir (Krestenitis, vd., 2011). Dünya nüfusunun %10'nun yaklaşık 634 milyon insanın deniz seviyesinden 0-10 m yükseltiye sahip kıyılarda yaşaması ve her geçen yıl nüfusun artması (McGranahan, vd., 2007) bu bölgelerde meydana gelen fırtına kabarmalarının olumsuz etkilerini önemli ölçüde artırmaktadır. Bunun yanı sıra, kıyı bölgelerinin biyoçeşitlik açısından zengin mekânlar olması ve sosyo-ekonomik faaliyetlerin yoğun olarak uygulanması alçak kıyıların fırtına kabarmasına olan hassasiyetini önemli ölçüde artırmaktadır. Fırtına kabarmaların kıyı bölgelerinde meydana getirdikleri hasarlar başta can ve mal kayıpları olmak üzere, bölgedeki ekolojik sistemin tahrip olması, bölgedeki canlı tür ve sayısının azalması, verimli tarım arazilerinin kaybolması, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kalitesinin düşmesi, çeşitli sağlık sorunların ortaya çıkması ve sosyal ve ekonomik faaliyetlerin kesintiye uğraması gibi çeşitli sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Krestenitis vd., 2011). Fırtına kabarmalarının kıyı bölgelerinde oluşturduğu bu tür tahribatlar deniz seviyesi yükselmesinin süresine, büyüklüğüne ve bölgenin kullanımına bağlı olarak değişmektedir (Paskoff, 1993).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC)'nin 2007 yılında yayınlanan raporunda 1970 yılının ortalarından beri fırtınaların sürelerinin uzunluğu ve büyüklüğü arasında güçlü bir korelasyon olduğu ve bunun tropikal deniz yüzeyi sıcaklıklarındaki artış ile bağlantılı olduğuna değinilmiştir. Bunun yanı sıra, aynı raporda fırtına ve

kasırgaların daha önce hiç yaşanmamış yerlerde de meydana gelmeye başladığına denilmiştir. Bu durum fırtına kabarmalarının geçmişten günümüze kadarki süreçte sadece yoğunluğunun ve sürelerinin artmakla kalmadığını aynı zamanda daha farklı kıyı bölgelerinde de görülerek geniş alanları etkilediğinin bir göstergesi olmuştur.

Fırtına kabarması ile ilgili çalışmalar geçmişten günümüze kadar farklı yöntem ve araçlar ile gerçekleşmiştir. Örneğin, geçmişte fırtına kabarmaları ile ilgili çalışmalar daha çok yerel deneysel gözlemlere dayanmaktayken bu durum teknolojik gelişmelerin bilimsel çalışmalara ve yöntemlerine olan katkısıyla birlikte daha kompleks analizler ile gerçekleştirmeye başlanmıştır. Fırtına kabarmaları ile ilgili çalışmalarda bilgisayar simülasyonlarının kullanımı ilk defa 1960'lı yıllarda gerçekleşmeye başlamıştır. Fakat bu dönemde kullanılan bilgisayar simülasyonlarının çözünürlük ve kapasitesinin düşük olması çalışmaların kalitesini büyük ölçüde düşürmekteydi. Zaman içerisinde fiziksel imkânların daha elverişli hale getirilmesi, bilgisayarların işlem gücünün artırılması farklı modellerin geliştirilmesine, geniş ölçekli fırtına kabarma simülasyonlarının hazırlanmasına ve bunların afet planlamalarında kullanılmasına olanak sağlamıştır (Mandli, 2014).

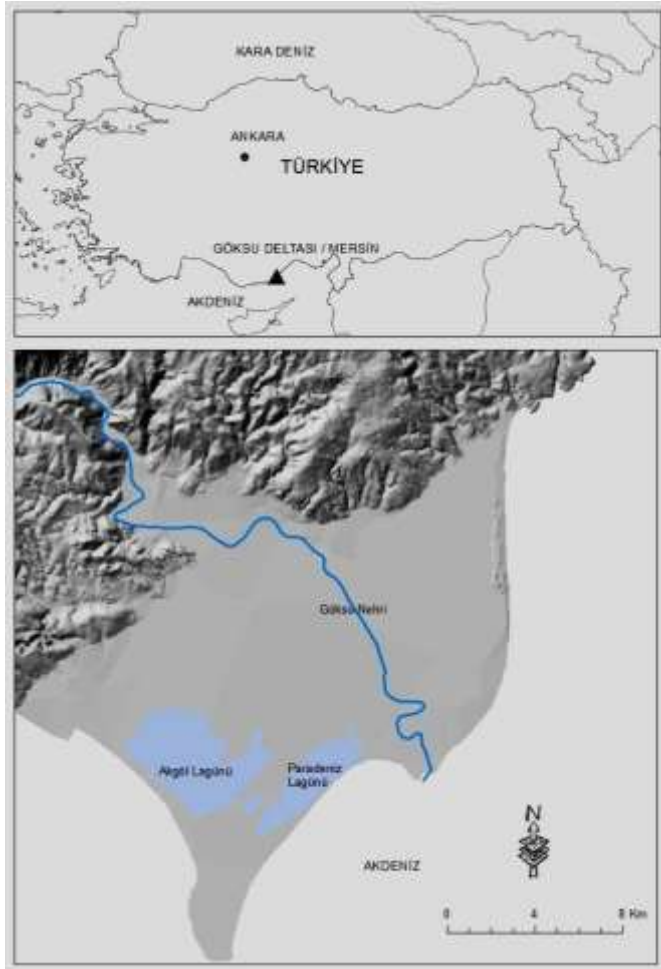
Günümüzde Fırtına kabarması ile ilgili çalışmaların gerçekleştirilmesinde çok çeşitli modeller kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes (SLOSH) (Jeselnianski, vd., 1992), ADvanced CIRCulation model (ADCIRC) (Dietrich, vd., 2011; Luettich vd., 1992), DELFT3D (Stelling, 1983; Booij, vd., 1999), MIKE (DHI, 2008), GCOM2D/3D (Hubbert ve McInnes 1999; McInnes vd., 2002, 2003), Finite-Volume Community Ocean Model (FVCOM) (Chen, vd., 2003; Rego ve Li, 2010) ve Hydrotam 3D'dir (Balas, L. and Özhan, E., 2000).

Bu çalışmada, Göksu Deltası kıyılarında meydana gelen fırtına kabarmalarının Hydrotam 3D programı ile analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Hydrotam 3D programının veri tabanında yer alan Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezinin (ECMWF) 36,3K – 34,1D koordinat noktasından üretilen rüzgâr ve dalga verilerinden faydalanılmış ve fırtına kabarma seviyeleri hesaplanmıştır.

2. Çalışma Sahası

Göksu Deltası, Akdeniz'in doğusunda Mersin ili sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Akdeniz deltaları içerisinde oldukça önemli bir yere sahip olan Göksu deltası, fiziki unsurların çeşitliği nedeniyle biyolojik ve ekolojik zenginlikleri bünyesinde barındırmakta ve aynı zamanda farklı ekonomik faaliyetlerin gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Göksu Deltası'nın bu denli zengin bir ekosisteme sahip olması ve yoğun kullanılan popüler mekanlar arasında yer alması bölgede meydana gelen fırtına kabarmalarının olumsuz etkilerini önemli ölçüde artırmaktadır.

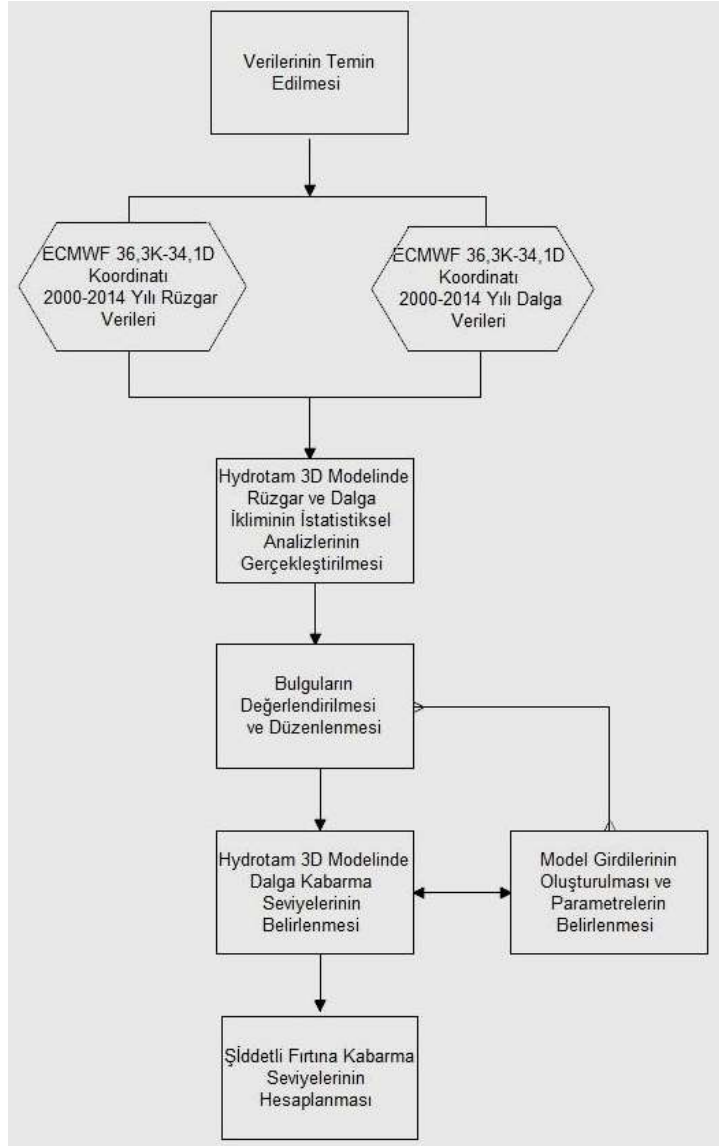
Göksu deltasının yükseltisi 0-5 m arasında değişmektedir. Deltanın yükseltisi güneyden kuzeye doğru gittikçe artmaktadır. Göksu deltasının batı kıyıları doğru kıyılarına göre daha geniş düzlüklere sahip ve eğim oranı oldukça düşüktür. Deltanın Batı kıyılarındaki lagünler, bataklık alanlar ve bunları denizden ayıran kıyı kordonları hassas ekolojik ortamlar yaratırken, doğu kıyılarındaki kumullar dalga kabarmasına karşı daha korunaklı alanlar oluşturur. Bu nedenle, Göksu deltası kıyılarında meydana gelen şiddetli fırtına kabarmaları çalışma sahasının batı kıyılarını daha fazla olumsuz etkilemektedir.



Şekil 1: Çalışma Sahasının Konumu

3. Veri ve Yöntem

Göksu Deltası kıyılarındaki fırtına kabarma seviyelerinin belirlenmesini amaçlayan bu çalışmada Hydrotam 3D programından faydalanılmıştır. Hydrotam 3D programı, kıyı alanlarındaki rüzgar iklimi, dalga iklimi, akıntı, kirlilik taşınımı, sediman taşınımı gibi kıyısal taşınım olaylarının benzeştirilmesi amacıyla geliştirilmiş yazılımdır (Balas, vd., 2012; URL-4). Çalışmada Hydrotam 3D programının veri tabanında yer alan ECMWF'in rüzgâr ve dalga verilerinden faydalanılmıştır. ECMWF'in 36,3K-34,1D koordinat noktasından üretilen rüzgâr ve dalga verilerinin çalışma sahasının rüzgâr iklimini daha iyi temsil etmesi çalışmada bu verilerin kullanılmasını gerekli kılmıştır. 2000-2014 yıllarına ait rüzgâr ve dalga verileri öncelikle Hydrotam 3D programında istatistiksel olarak analiz edilmiş ve elde edilen bulgular düzenlenerek çalışma sahasının rüzgâr ve dalga iklimi yön, şiddet ve zamansal ölçeğe göre yorumlanmıştır. Çalışmanın bir sonraki aşamasında rüzgâr ve dalga iklimden elde edilen istatistiklerden faydalanılarak Hydrotam 3D programında dalga kabarma seviyeleri belirlenmiştir. Çalışma sahasının dalga kabarma seviyelerinin belirlenmesinde öncelikle Hydrotam 3D programında belirli parametreler oluşturulmuş ve daha sonra veri girdileri sağlanarak dalga kabarma seviyeleri hesaplanmıştır. Çalışmanın en son aşamasında ise elde edilen tüm bulgular bir birleri ile ilişkilendirilerek fırtına kabarma seviyeleri hesaplanmıştır (Şekil 2).



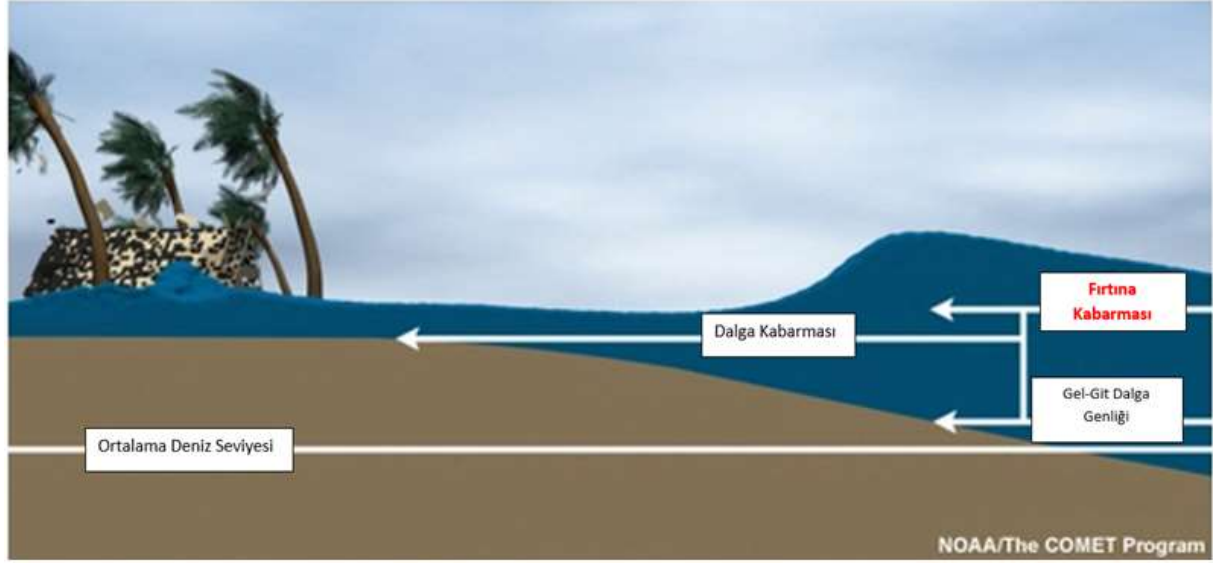
Şekil 2: Çalışma Akış Diyagramı

3.1. Fırtına Kabarma Seviyelerinin Hesaplanması

Göksu Deltası kıyılarında meydana gelen fırtına kabarma seviyelerinin hesaplanmasında aşağıdaki formülden faydalanılmıştır.

$$\text{Ortalama Deniz Seviyesi} + \text{Gel-Git Dalga Genliği} + \text{Dalga Kabarması} = \text{Fırtına Kabarması}$$

Fırtına kabarma seviyelerinin belirlenebilmesi için çalışma sahasının ortalama deniz seviyesi, gel-git dalga genliği (0,20 cm) ve dalga kabarma seviyeleri belirlenmiş ve elde edilen bulgular bir araya getirilerek çalışma sahasında etkili olan fırtına kabarma seviyeleri hesaplanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3: Fırtına Kabarma Sevilerinin Belirlenmesi (URL-3).

4. Bulgular

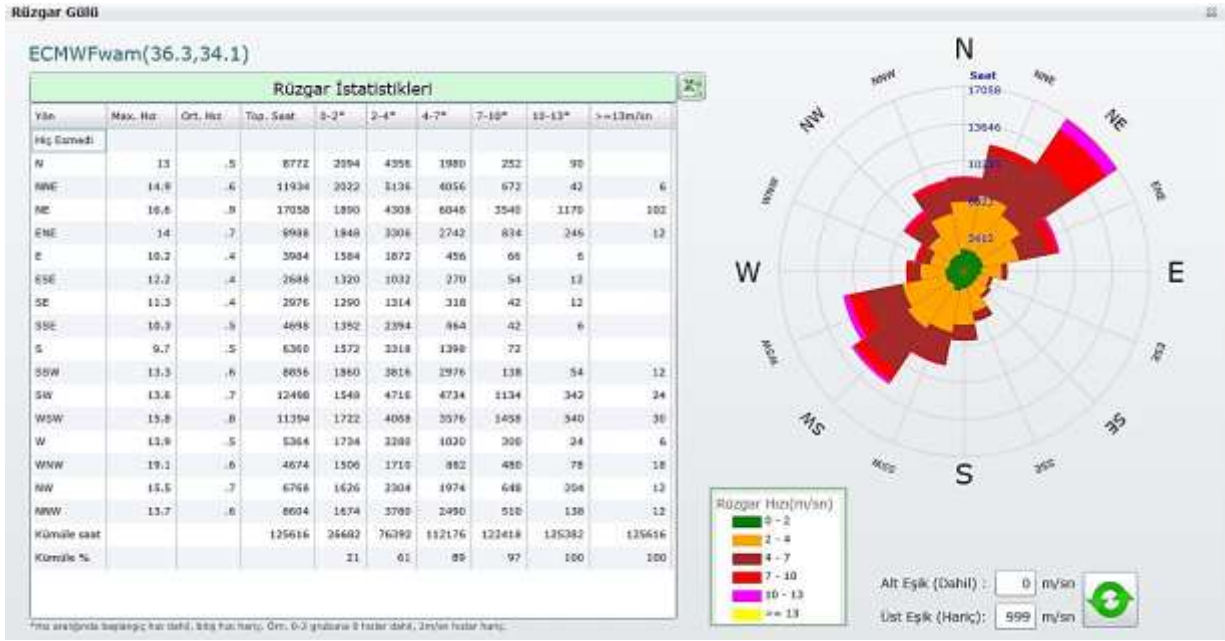
4.1. Çalışma Sahasının Rüzgâr İklimi

Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF)'nin 36,3K-34,1D koordinat noktasından üretilen 2000-2014 yıllarına ait rüzgâr verilerinin Hydrotam 3D programında istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucu çalışma sahasının rüzgâr iklimi belirlenmiştir (Şekil 4). ECMWF'in deniz üstü rüzgâr verilerinin tahminin de başarılı sonuçlar vermesi çalışma sahasının rüzgâr ikliminin belirlenmesinde bu veri tabanından faydalanılmasını sağlamıştır.



Şekil 4: ECMWF'in 36,3K-34,1D Koordinat Noktasının Konumu (HYDROTAM 3D)

Hydrotam 3D programında analiz edilen rüzgâr istatistikleri ve rüzgârgülü grafiğinin incelenmesi sonucunda çalışmasındaki etkili rüzgâr yönlerinin GB-KD; BGB-DKD; GGB-KKD doğrultusunda olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5). Özellikle de GB-KD; BGB-DKD doğrultusunda esen rüzgârların deniz üzerinde gerçekleşmesi nedeniyle dalga seviyesinin değişmesinde önemli rol oynamaktadır.



Şekil 5: ECMWF 36,3K-34,1D koordinat noktasının 2000-2014 yıllarına ait yönler göre rüzgârgüllü (HYDROTAM 3D)

4.2. Çalışma Sahasının Dalga İklimi

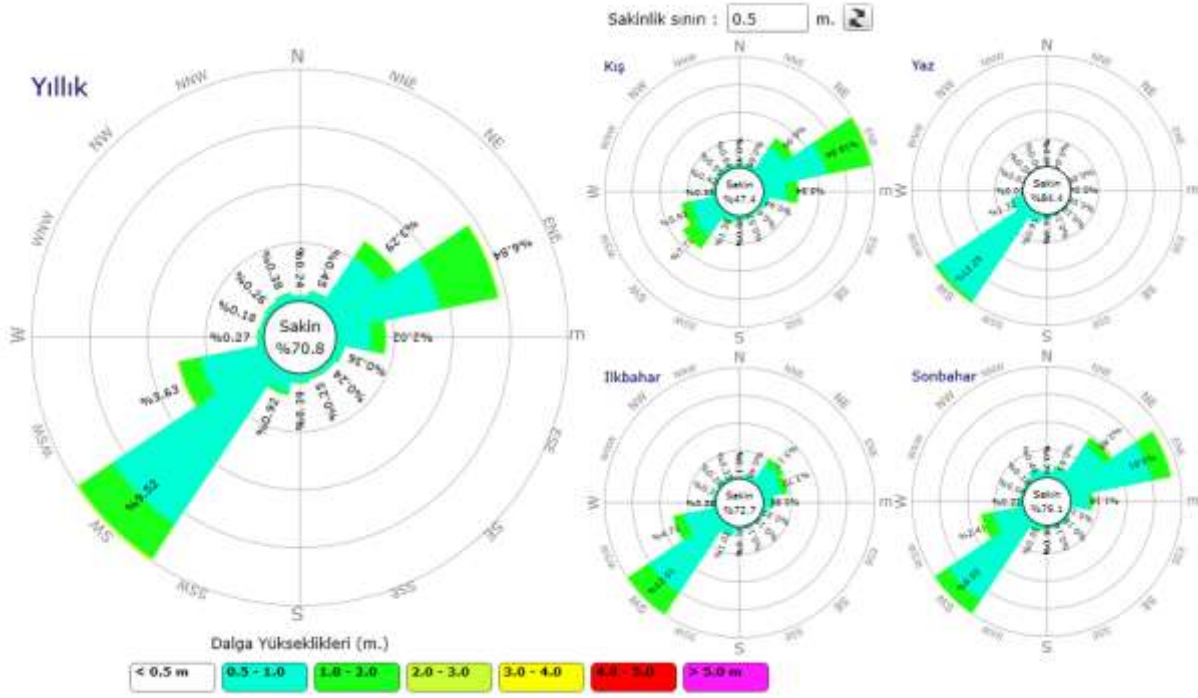
ECMWF'in 36,3K-34,1D koordinat noktasından üretilen 2000-2014 yıllarına ait dalga verilerinin Hydrotam 3D programında değerlendirilmesi sonucunda çalışma sahasının dalga iklimi tanımlayan feç haritası ve dalga gülleri üretilmiştir. Feç haritaları, çalışma sahasında oluşan rüzgârın dalga oluşturmaları için suyu etkilediği mesafeyi göstermektedir. Bu nedenle, feç haritaları dalga karakteristikleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

Çalışma sahasının feç haritasının incelenmesi durumunda en uzun feç mesafesinin 1,201 km ile BGB yönü olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6). Bu yönde gerçekleşen dalgaların büyüklüğü feç mesafesinin uzunluğuna bağlı olarak daha büyük olacaktır. Bu nedenle, BGB yönünde gerçekleşen fırtına kabarmalarının çalışma sahasını önemli ölçüde etkilemesi düşünülmektedir.



Şekil 6: Yönler Göre Dalga Kabarma Mesafeleri (Feç) (HYDROTAM 3D)

Göksu Deltası kıyılarının hâkim dalga yönleri Hydrotam 3D programında yıllık ve mevsimlik olarak değerlendirilmiştir (Şekil 7). Çalışma sahasının yıllık hâkim dalga yönünün incelenmesi sonucunda en etkin yönün GB olduğu tespit edilmiştir. Mevsimlik ölçekte hâkim dalga yönlerinin değerlendirilmesi durumunda ise sadece kış mevsiminde DKD yönünün etkin olduğu, bunun dışında diğer tüm mevsimlerde GB yönünün etkin olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7: ECMWF 36,3K-34,1D koordinat noktasının 2000-2014 yıllarına ait yönler göre dalga yükseklikleri (HYDROTAM 3D)

4.3. Rüzgâr ve Dalga İstatistikleri

ECMWF'in 36,3K-34,1D koordinat noktasından üretilen 2000-2014 yıllarına ait rüzgâr ve dalga verilerinin Hydrotam 3D programında istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucu elde edilen bulgular Tablo 1'de sunulmuştur. Zaman, yön ve şiddetine göre değerlendirilen rüzgâr ve dalga verileri çalışma sahasının rüzgâr ve dalga ikliminin tanımlanmasında önemli bir aşamayı oluşturmuştur. Çalışma sahasındaki en etkili rüzgâr ve dalga yönleri BGB ve GB yönleridir (Tablo 1). Bu yönlerde gerçekleşen rüzgâr ve dalgaların çalışma sahası kıyılarını önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Göksu Deltası kıyılarında BGB yönde 7 yılda bir tekrarlanma olasılığına sahip yılda 1 saat zaman aralığındaki 15,5 m/sn hızındaki rüzgarlar çalışma sahasında en fazla 2,9 m dalga yüksekliği oluştururken; GB yönde 8 yılda bir tekrarlanma olasılığına sahip yılda 1 saat zaman aralığındaki 16 m/sn hızındaki rüzgarlar 2,8 m yüksekliğinde dalga oluşturmuştur.

Tablo 1: ECMWF 36.3K - 34.1D Koordinat Noktasının Rüzgâr ve Dalga İstatistikleri

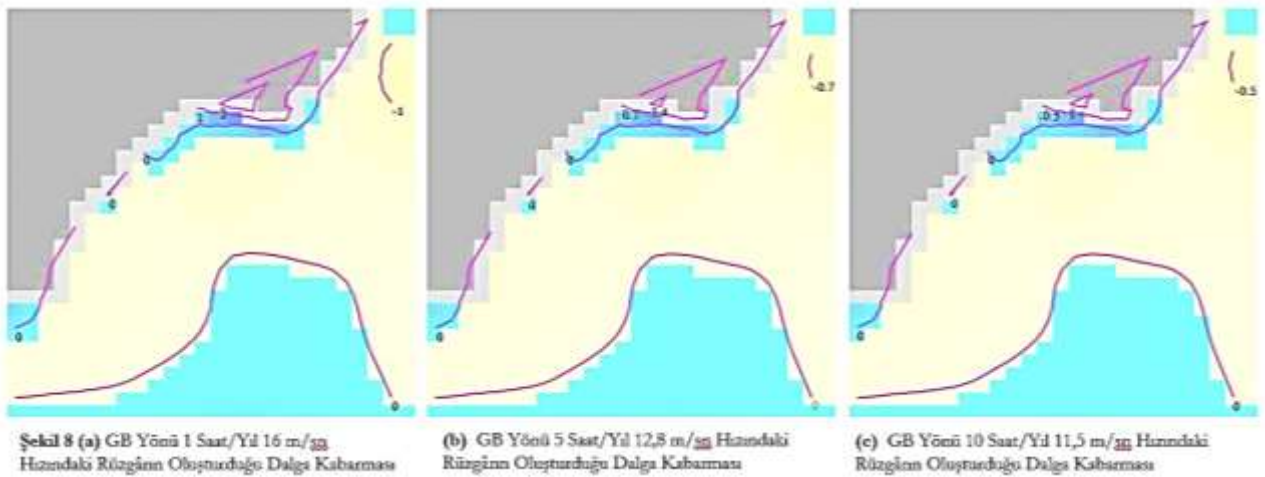
Saat/Yıl	1		5		10	
Yönler	Rüzgar (m/sn)	Dalga (m)	Rüzgar (m/sn)	Dalga (m)	Rüzgar (m/sn)	Dalga (m)
BGB	15,497	2,916	12,621	2,245	11,383	1,957
GB	16,002	2,828	12,898	2,271	11,561	2,03
GGB	13,059	1,777	10,312	1,354	9,129	1,172
G	8,979	1,84	7,254	1,279	6,51	1,037
GGB	9,537	1,515	7,476	1,063	6,588	0,868
GD	9,708	1,417	7,219	0,959	6,148	0,762
DGD	10,353	1,275	7,513	0,935	6,29	0,789
D	9,725	2,131	7,431	1,655	6,443	1,451
DKD	14,62	2,748	11,713	2,218	10,461	1,989
KD	16,519	2,619	13,73	2,029	12,529	1,775
KKD	12,501	1,523	10,195	1,09	9,201	0,904
K	13,321	1,319	10,475	0,921	9,249	0,75
KKB	14,392	1,457	11,381	1,032	10,084	0,849
KB	14,576	1,489	11,547	1,015	10,242	0,811
BKB	15,028	1,459	11,383	0,97	9,813	0,759
B	12,354	1,48	9,569	1,027	8,369	0,832

4.4. Dalga Kabarması

4.4.1. GB Yönü Dalga Kabarması

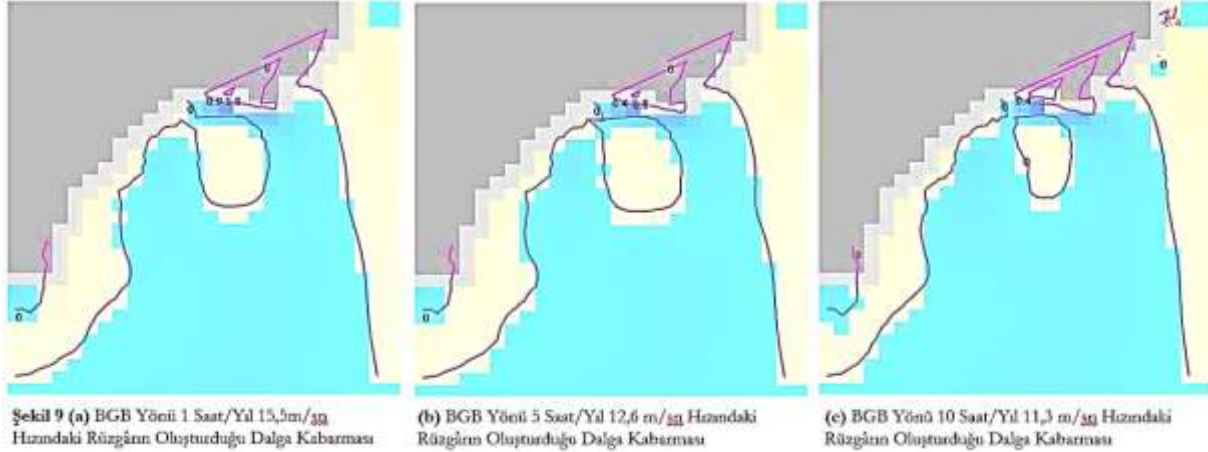
Göksu deltası kıyılarındaki dalga kabarma seviyelerinin belirlenmesinde Hydrotam 3D programından faydalanılmıştır. Tablo 1'de paylaşılan yön, şiddet ve zamansal ölçeğe göre değerlendirilen rüzgâr ve dalga istatistikleri Hydrotam 3D programının veri tabanına girilmiş ve belirlenen parametrelere göre dalga kabarma seviyeleri belirlenmiştir.

Çalışmanın sonucunda, GB yönünde 8 yılda bir tekrarlanma olasılığına sahip yılda 1 saat zaman aralığında oluşan ortalama 16 m/sn hızındaki rüzgârın oluşturduğu dalga kabarma seviyesi en fazla 2 m'dir Şekil 8 (a). GB yönünde 1,5 yılda bir tekrarlanma olasılığına sahip yılda 5 saat zaman aralığında oluşan 12,6 m/sn hızındaki rüzgârın oluşturduğu dalga kabarma seviyesi ise en fazla 0,7 m iken; GB yönünde yılda 1 tekrarlanma olasılığına sahip yılda 10 saat zaman aralığında oluşan 11,5 m/sn hızındaki rüzgârın oluşturduğu dalga seviyesi 0,5 m'dir Şekil 8 (b), (c).



4.4.2. BGB Yönü Dalga Kabarması

Göksu Deltası kıyılarında BGB yönünde 7 yılda bir tekrarlanma olasılığına sahip yılda 1 saat zaman aralığında meydana gelen ortalama 15,5 m/sn şiddetindeki rüzgârın oluşturduğu dalga kabarması en fazla 1 m'dir Şekil 9 (a). BGB yönünde 1,5 yılda bir tekrarlanma olasılığına sahip yılda 5 saat zaman aralığında oluşan ortalama 12,6 m/sn şiddetindeki rüzgârın meydana getirdiği dalga kabarması 0,8 m iken; BGB yönünde yılda 1 tekrarlanma olasılığına sahip yılda 10 saat zaman aralığında oluşan ortalama 11,3 m/sn şiddetindeki rüzgârın oluşturduğu dalga kabarması 0,4 m olarak belirlenmiştir



4.5. Fırtına Kabarması

4.5.1. GB Yönü Fırtına Kabarma Seviyeleri

Göksu deltası kıyılarında meydana gelen fırtına kabarma seviyelerinin incelenmesi durumunda; en yüksek fırtına kabarmasının 3,6 m ile GB yönünde 8 yılda bir tekrarlanma olasılığına sahip yılda 1 saat zaman aralığında oluşan rüzgârlar tarafında gerçekleştiği tespit edilmiştir. GB yönünde 1,5 yılda bir tekrarlanma olasılığına sahip yılda 5 saat zaman aralığında oluşan rüzgârların meydana getirdiği fırtına kabarma seviyesi 2 m iken; GB yönünde yılda 1 tekrarlanma olasılığına sahip yılda 10 saat zaman aralığında gerçekleşen rüzgârların meydana getirdiği fırtına kabarmaları 1,7 m olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2: Göksu Deltası Kıyıları GB Yönü Fırtına Kabarma Seviyeleri

Saat/Yıl	1			5			10		
YÖN	Dalga Kabarması (m)	Ortalama Deniz Seviyesi (m)	Gel-Git Dalga Genliği (m)	Dalga Kabarması (m)	Ortalama Deniz Seviyesi (m)	Gel-Git Dalga Genliği (m)	Dalga Kabarması (m)	Ortalama Deniz Seviyesi (m)	Gel-Git Dalga Genliği (m)
GB	2	1,4	0,20	0,7	1,1	0,20	0,5	1	0,20
Dalga Yüksekliği	3,6 m			2 m			1,7 m		

4.5.2. BGB Yönü Fırtına Kabarma Seviyeleri

Çalışma sahasının BGB yönünde meydana gelen şiddetli fırtına kabarma seviyelerinin değerlendirmesi sonucunda en yüksek fırtına kabarma seviyesinin 2,7 m ile 7 yılda bir tekrarlanma olasılığına sahip yılda 1 saat zaman aralığında meydana gelen rüzgârlar tarafından olduğu tespit edilmiştir. BGB yönünde 1,5 yılda bir tekrarlanma olasılığına sahip yılda 5 saat zaman aralığında oluşan rüzgârlar 2,1 m seviyesinde fırtına kabarmasına neden olurken; yılda 1 tekrarlanma olasılığına sahip yılda 10 saat zaman aralığında oluşan rüzgârlar 1,6 m seviyesinde fırtına kabarması meydana getirmiştir (Tablo 3).

Tablo 3: Göksu Deltası Kıyıları BGB Yönü Fırtına Kabarma Seviyeleri

Saat/Yıl	1			5			10		
YÖN	Dalga Kabarması (m)	Ortalama Deniz Seviyesi (m)	Gel-Git Dalgası Genliği (m)	Dalga Kabarması (m)	Ortalama Deniz Seviyesi (m)	Gel-Git Dalgası Genliği (m)	Dalga Kabarması (m)	Ortalama Deniz Seviyesi (m)	Gel-Git Dalgası Genliği (m)
BGB	1	1,5	0,20	0,8	1,1	0,20	0,4	1	0,20
Dalga Yüksekliği	2,7 m			2,1 m			1,6 m		

5. Sonuç ve Tartışma

Göksu Deltası kıyılarında meydana gelen şiddetli fırtına kabarma seviyelerinin Hydrotam 3D programı ile belirlenmesini amaçlayan bu çalışmada, en şiddetli fırtına kabarmalarının GB ve BGB yönlerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. GB yönünde 8 yılda bir tekrarlanma olasılığına sahip yılda 1 saat süreyle oluşan rüzgârlar 3,6 m seviyesinde fırtına kabarması oluştururken; BGB yönünde 7 yılda bir tekrarlanma olasılığına sahip yılda 1 saat zaman aralığındaki rüzgârlar 2,7 m seviyesinde fırtına kabarması oluşturmaktadır.

Akdeniz genelinde gerçekleştirilen fırtına kabarması ile ilgili çalışmaların incelenmesi durumunda ise elde edilen sonuçların önemli ölçüde değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Akdeniz'in geniş bir kapalı havza olması, kıyı özelliklerinin değişkenlik göstermesi, feç mesafeleri, çalışmalarda kullanılan modeller ve veri zaman aralıkları gibi parametreler fırtına kabarması ile ilgili elde edilen değerlerin önemli ölçüde farklılaşmasına neden olmaktadır. Örneğin, Androulidakis vd., 2008 yılında gerçekleştirmiş oldukları çalışmada Barselona' da 1 Mart 2001 tarihinde etkili olan fırtına kabarmasının Batı Akdeniz kıyılarında 0,5 m deniz seviyesi yükselmesine neden olduğunu tespit etmişlerdir. Yine aynı çalışmada 2002 yılının Aralık ayında Venedik kıyılarında etkili olan fırtına kabarmasının deniz seviyesinin 1 m yükselmesine neden olduğu belirtilmektedir. Sonuç olarak, Akdeniz kıyılarında etkili olan fırtına kabarmaları son yıllarda daha sık ve şiddetli ölçeklerde meydana gelmeye başlamış ve bu konuda hazırlanan çalışmaların önemini büyük ölçüde artırmıştır.

Göksu deltası kıyılarında en şiddetli fırtına kabarmalarının meydana geldiği GB ve BGB yönlerinde oluşan 3,6 m ve 2,7 m seviyesindeki deniz seviyesi yükselmeleri kıyı bandında bazı tahrip edici değişimlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bilindiği üzere, Göksu Deltası kıyıları fiziki ortamın çeşitliliği ve elverişliliği nedeni ile ekolojik açıdan oldukça zengin bir ekosisteme sahiptir. Bunun yanı sıra, çalışma sahasının delta özelliğinde olması ve pek çok açıdan verimli ve elverişli bir topografyaya sahip olması başta tarım olmak üzere, balıkçılık, ulaşım, turizm gibi çeşitli ekonomik faaliyetlerin yoğun olarak uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Göksu Deltası kıyılarının sahip olduğu tüm bu olanaklara son yıllarda oldukça önem kazanan rekreasyon faaliyetlerinin de eklenmesi bölgenin popülaritesini önemli ölçüde artırmıştır. Bu nedenle, Göksu deltası kıyılarında meydana gelen şiddetli fırtına kabarmaları çevresel değişimlerin oluşmasının yanı sıra sosyo-ekonomik değişimlerinde yaşanmasına neden olmuştur. Örneğin, 13 Eylül 2010 tarihinde Paradeniz Lagünü çevresinde etkili olan şiddetli fırtına kabarması lagün kordonundaki erozyonu artırmış ve daha fazla deniz suyunun Paradeniz Lagününe girmesine ve su kalitesinin değişmesine neden olmuştur (URL-2). Deltadaki su kaynaklarının kalitesinin değişmesi bölgede yaşayan canlıların olumsuz etkilenmesinin yanı sıra bölgede gerçekleştirilen ekonomik faaliyetlerin de kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. 29 Aralık 2016 tarihinde gerçekleşen şiddetli fırtına kabarmasında ise Göksu deltası kıyılarının belirli bölümleri (park alanları ve sahil yolları) dalga taşkınları nedeni ile sular altında kalmış ve bölgede o sırada dolaşmakta olan bir gencin dalgalar tarafından yutulmuş ve yaşamını yitirmesine neden olmuştur (URL-1).

Sonuç olarak, Göksu Deltası kıyıları son yıllarda Akdeniz kıyılarında daha sık ve şiddetli meydana gelmeye başlayan fırtına kabarmalarından oldukça fazla etkilenmektedir. Çalışma sahasının delta özelliğinde olması nedeni ile düz ve eğiminin düşük olması, zengin bir ekosisteme sahip

olması, ekonomik faaliyetlerin yoğun olarak uygulanması ve son yıllarda rekreasyon faaliyetleri için daha çok tercih edilmesi bölgede gerçekleşen şiddetli fırtına kabarmalarının olumsuz etkileri önemli ölçüde artırmaktadır.

Göksu Deltası kıyılarında meydana gelen şiddetli fırtına kabarmalarının olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi veya engellenmesi için bazı çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bunlar içerisinde çalışma sahasında meydana gelen fırtına kabarması ile ilgili çalışmaların nitelik ve nicelik olarak artırılması oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir. Çalışma sahasının tüm fiziki ve beşeri unsurları göz önünde bulundurularak geliştirilen fırtına kabarma modelleri şiddetli fırtına kabarmalarının çalışma sahasına olumsuz etkilerini oldukça azaltacaktır. Ayrıca, bilimsel çalışmalardan elde edilen bulguların ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından değerlendirilmesi ve çalışma sahası ile ilgili hazırlanan afet ve planlama raporlarına dâhil edilmesi şiddetli fırtına kabarmalarının olumsuz etkilerini önemli ölçüde düşürecektir. Fırtına kabarmalarının Göksu Deltası kıyılarındaki olumsuz etkilerini azaltmayı amaçlayan tüm bu bilimsel içerikli araştırma çalışmalarının yanı sıra bölgenin mevcut arazi kullanımının yeniden değerlendirilmesi, kıyının doğal yapısının bozulmadan koruma amaçlı mahmuzların inşa edilmesi, kıyıdan kum alımlarının durdurulması gibi bazı önlemlerin alınması oldukça önemlidir.

Kaynakça

- Androulidakis, Y., Krestenitis, Y. N., Kontos, Y. ve Georgakopoulos, G. (2008). A storm surge model implementation and identification of coastal areas in risk of inundation, in the Mediterranean Sea, 4th International Congress on Environmental Modelling and Software - Barcelona, Catalonia, Spain.
- Balas, L. ve Özhan, E. (2000). An implicit three dimensional numerical model to simulate transport processes in coastal water bodies, *Int. Journal of Numerical Methods in Fluids*, 34, 307-339.
- Balas, L., Genç, A.N. ve Inan, A. (2012). HYDROTAM: 3D Model for Hydrodynamic and Transport Processes in Coastal Waters. International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), 2012 International Congress on Environmental Modelling and Software, Managing Resources of a Limited Planet, Sixth Biennial Meeting, Leipzig, Germany.
- Booij, N., Ris, R.C. ve Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation model for coastal regions I. Model description and validation. *J Geophys Res*, 104:7649–7666
- Chen, C., Liu, H. ve Beardsley, R.C. (2003). An unstructured, finite-volume, threedimensional, primitive equation ocean model: application to coastal ocean and estuaries. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20, 159–186.
- DHI. Mike 21 SW scientific background. Denmark: DHI; 2008.
- Dietrich, J.C., Zijlema, M., Westerink, J.J., Holthuijsen, L., H, Dawson, C.N., Luetlich, R.A., Jr, Jensen, R.E., Smith, J.M., Stelling, G.S. ve Stone, G.W. (2011). Modeling hurricane waves and storm surge using integrally-coupled, scalable computations. *Coast Eng* 58:45–65
- Hubbert, G.D. ve McInnes, K.L. (1999). A storm surge inundation model for coastal planning and impact studies. *J Coastal Res* 15:168–185.
- IPCC (2007) Climate change 2007: the physical science basis, summary for policymakers. International Panel on Climate Change, Geneva.
- Jelesnianski, C.P. Jye, C.S. ve Wilson, A. (1992). SLOSH: sea, lake and overland surges from hurricanes. In NOAA Technical Report NWSM8, United States Department of Commerce, NOAA, NWS, Silver Springs.
- Krestenitis, Y. N., Androulidakis, Y. S., Kontos, Y. N. Ve Georgakopoulos, G. (2011). Coastal inundation in the north-eastern Mediterranean coastal zone due to storm surge events, *J Coast Conserv.* 15:353–368, DOI 10.1007/s11852-010-0090-7.
- Luetlich, R.A., Westerink, J.J. ve Scheffner, N.W., (1992). ADCIRC: an advanced threedimensional circulation model for shelves, coasts and estuaries, Report 1: theory and methodology of ADCIRC-2DDI & ADCIRC-3DL. Report 1: Theory and Methodology of ADCIRC-2DDI & ADCIRC-3DL. Technical Report, DRP-92-6. Army Corps of Engineers, U.S
- Mandli, K.T. ve Dawson, C.N. (2014). Adaptive mesh refinement for storm surge, *Ocean Modelling*, 75: 36–50.
- McGranahan, G., Balk, D. ve Anderson, B. (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environ Urban* 19:17–37

- McInnes, K.L., Hubbert, G.D., Abbs, D.J. ve Oliver, S.E. (2002). A numerical modeling study of costal flooding. *Meteorol Atmos Phys* 80:217–233
- McInnes, K.L., Walsh, K.J.E. ve Hubbert, G.D. (2003). Impact of sea-level rise and storm surges on a coastal community. *Nat Hazards* 30:187–207
- Paskoff, R. (1993). *Côtes en danger. Pratiques De La Géographie* Masson, Paris
- Rego, J.L. ve Li, C. (2010). Nonlinear terms in storm surge predictions: effect of tide and shelf geometry with case study from Hurricane Rita. *Journal of Geophysical Research* 115, C06020.
- Stelling GS (1983) On the construction of computational methods for shallow water flow problems. Ph. D. thesis, Delft University of Technology
- URL-1, <http://www.internethaber.com/mersinde-sel-felaketi-can-aldi-1742885h.htm> Erişim tarihi, 15 Haziran 2017.
- URL-2, <http://www.ntv.com.tr/turkiye/paradeniz-lagunu-tehlikede,QhMiaRkju E2Al0wTUtGs NQ>, Erişim tarihi, 15 Haziran 2017.
- URL-3 <https://ctmirror.org/2013/07/01/storm-surge-hurricane-seasons-least-understood-threat/> Erişim tarihi, 15 Haziran 2017.
- URL-4, HYDROTAM 3D (Üç Boyutlu Hdrodinamik, Taşınım ve Su Kalitesi Modeli), <http://hydrotam.com> Erişim tarihi, 10 Haziran 2017.
- Woth K, Weisse R, von Storch H (2006) Climate change and North Sea storm surge extremes: an ensemble study of storm surge extremes expected in a changed climate projected by four different regional climate models. *Ocean Dyn*, 56(1):3–15
- Zecchetto, S., Della Valle, A. ve De Biasio, F. (2015). Mitigation of CMWF–scatterometer wind biases in view of storm surge applications in the Adriatic Sea, *Advances in Space Research* 55 (2015) 1291–1299.

TEŞEKKÜR

"Göksu Deltası'nda Fırtına Kabarmasına Bağlı Deniz Seviyesi Değişimleri" başlıklı çalışmanın gerçekleştirilmesinde önerileri ile katkı sağlayan ve Hydrotam 3D programının kullanılması konusunda destek veren Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Öğretim Üyesi **Pof. Dr. Lale Balas**'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Extended English Abstract

Storm surges are sudden rises in water level that occur when atmospheric conditions are not normal. Due to global climate change in recent years, ocean and sea surfaces have warmed more than usual. The 2007 IPCC report states that there is a strong correlation between the length of storm periods and the magnitude of storms, which is related to increases in tropical sea surface temperatures. In addition, the report mentions that storm surges have begun to be seen in places that have never been seen them before. The increase in the expansion and the violence of the storm surge caused some environmental, economic and recreational problems especially in the low coastal areas. In addition to that, Population increase and intensive settlements on the coastal area makes the impacts of storm surge even more vulnerable and cause serious loss of life and property.

Many coastal states are carrying out some studies in order to minimize the negative impacts of storm surges. Some of them are re-classification of land use according to their risk levels, constructing flood barriers, applying detail meteorological models etc. All of these studies are not only prevent negative impacts of storm surge on coastal ecosystem and also reduce the loss of life and property.

The shore of the Göksu Delta is located at a very important point along the Mediterranean coastline. The area's ecological richness and the intensive economic and social activities are adversely impacted by storm surges. Adverse impacts of severe storm surges include flooding, erosion, pollution of surface and underground resources, extinction of species, etc. Economic problems brought on by severe storm surges include interruptions and loss of money in agriculture, fishing, and transportation, which are major industries in the area. Severe storm surges also threaten

recreational activities. The coast is extremely important in terms of tourism, especially in summer. There are many resorts, hotels, small shops, parks, and gardens near the coast. Severe storm surges in the area devastate recreational areas and make them unusable.

In 2009, severe storm surges occurred over a short period near the Paradeniz Lagoon. The surges increased erosion rates and caused more sea water to enter the lagoon. The changes in water quality in the lagoon and connected areas adversely affected the lagoon environment and animals. A severe storm surge on 29 December 2016 resulted in severe flooding in parking areas and coastal roads. There were high waves and a boy who was visiting the park lost his life.

In recent years, the quality and quantity of studies about the storm surge has increased substantially. The development of technological opportunities provide researchers to improve new methods for the storm surge analysis. In the past, studies on storm surges have been based on local experimental observations, today more complex analyzes are applied with the contribution of technological developments to scientific studies. The first use of computer simulations began to take place in the 1960s. However, the computer simulations used in this period has the low resolution and limited capacity which reduced the quality of the work. Making physical possibilities more convenient and increasing the computing power over time has allowed the development of different storm surge models and preparation of large-scale storm surge simulations.

In storm surge studies, different models have been used to determine magnitude and violence, for example: Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes (SLOSH), ADvanced CIRCulation model (ADCIRC), DELFT3D, MIKE, GCOM2D/3D, Finite-Volume Community Ocean Model (FVCOM), and Hydrotam 3D.

In this study, the Hydrotam 3D program was used to determine storm surge levels on the Göksu Delta coast. Wind and wave data obtained from the 36.3K–34.1D coordinate points of the European Medium-Term Weather Forecast Center (ECMWF) were used to produce storm surge models. The study shows that the most severe storm surge occurred from the southwest and west-southwest. Southwest winds that took place in the time interval of one hour per year caused surges of 3.6 m; west-southwest winds that took place in the time interval of one hour per year caused surges of 2.7 m.

Severe storm surges of 3.6 m and 2.7 m caused adverse impacts to the Göksu Delta coast. To reduce negative impacts of storm surges, studies need to be done to increase the quality and quantity of data on storm surges, develop different surge models, re-evaluate land use in the area and potentially evacuate risky areas, construct flood barriers in high risk areas and identify elements that threaten coastal areas in order to take necessary precautions. All these efforts can effectively prevent or decrease adverse impacts of severe storm surges toward sustainable use of the Göksu Delta coast.